

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. August 2005 (25.08.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/078243 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F01K 25/06**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050595

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. Februar 2005 (10.02.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 006 837.2  
12. Februar 2004 (12.02.2004) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: **OSER, Erwin** [DE/DE]; Hansaring 145-147,  
50670 Köln (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RANNOV, Michael**  
[DE/DE]; Bilsteiner Weg 20, 57368 Lennestadt (DE).

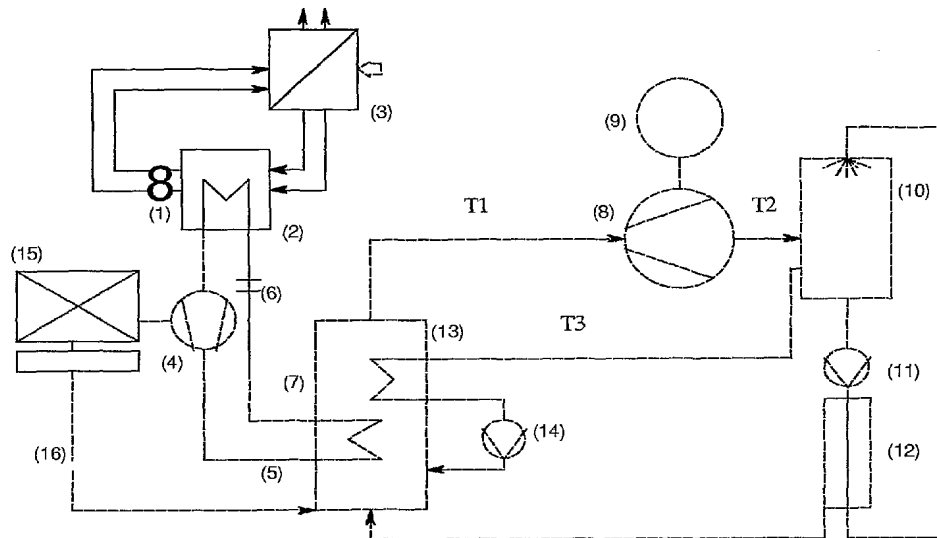
(74) Anwalt: **KIETZMANN, Lutz**; Neuer Zollhof 2, 40221  
Düsseldorf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND INSTALLATION FOR CONVERTING THERMAL ENERGY FROM FLUIDS INTO MECHANICAL ENERGY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANLAGE ZUR UMWANDLUNG VON WÄRMEENERGIE AUS FLUIDEN IN MECHANISCHE ENERGIE



(57) Abstract: The invention relates to a method and an installation for converting thermal energy, which is contained in fluids as perceptible or latent heat, into mechanical energy. According to said method, a working medium is evaporated in an evaporator by means of the thermal energy, the latter if required being converted to a higher temperature using one or more heat pumps that are connected one behind the other. The working medium is then expanded in an expansion device and the thermal energy is at least partially converted into mechanical energy. The invention is characterised in that the expansion takes place in a low-pressure expansion device (8) and the energy that is contained in the expanded vaporous working medium can be returned to the evaporation unit of the evaporator (7), which can be used to evaporate additional working medium.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/078243 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

---

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie, die in Fluiden als fühlbare oder latente Wärme enthalten ist, in mechanische Energie, bei dem durch die Wärmeenergie, falls erforderlich nach Transformation auf ein höheres Temperaturniveau mittels einer oder mehrerer hintereinandergeschalteten Wärmepumpen, in einem Verdampfer ein Arbeitsmittel verdampft wird, das in einer Entspannungsvorrichtung entspannt wird und dabei die Wärmeenergie zumindest teilweise in mechanische Energie umgewandelt wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Entspannung in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (8) erfolgt und die im entspannten dampfförmigen Arbeitsmittel enthaltene Energie in die Verdampfungseinrichtung in einer Verdampfereinheit (7) rückführbar ist, die zur Verdampfung zusätzlichen Arbeitsmittels nutzbar ist.

---

VERFAHREN UND ANLAGE ZUR UMWANDLUNG VON WÄRMEENERGIE AUS FLUIDEN IN MECHANISCHE  
ENERGIE

---

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie, die in Fluiden beispielsweise als fühlbare oder latente Wärme enthalten ist, in mechanische Energie, bei dem in einem Verdampfer ein Arbeitsmittel verdampft wird, das in einer Entspannungsvorrichtung entspannt wird, wobei Wärmeenergie zumindest teilweise in mechanische Energie umgewandelt wird. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie von Fluiden in mechanische Energie.

Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von Vorrichtungen sowie Verfahren zur Gewinnung von mechanischer Energie bekannt. Es sind beispielsweise Wärmekraftanlagen bekannt, in denen in einem Kessel ein Arbeitsmittel, z.B. Wasserdampf bei einem hohen Druck isobar bis zum Siedepunkt erwärmt wird, verdampft und anschließend in einem Überhitzer noch überhitzt wird. Der Dampf wird anschließend in einer Turbine unter Verrichtung von Arbeit adiabat entspannt und in einem Kondensator unter Wärmeabgabe verflüssigt. Die Flüssigkeit wird von einer Speisewasserpumpe auf einen Druck gebracht und wieder in den Kessel gefördert. Einer der Nachteile dieser Vorrichtungen ist, dass bei diesen Entspannungsprozessen mit Wasserdampf in Turbinen hohe Temperaturen für Drücke von über 15 bar bis 200 bar erzeugt werden müssen, um wirtschaftliche Wirkungsgrade zu erreichen, da bei Turbinen das Druckverhältnis bei der Entspannung die wesentliche Einflussgröße ist.

Ein weiteres Merkmal der bekannten Entspannungsprozesse zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie ist, dass die bei der Kondensation des Arbeitsmittels anfallende Kondensationsabwärme verfahrensbedingt für den Entspannungsprozess selbst nachteiligerweise als Verlustwärme anfällt, wodurch der Wirkungsgrad negativ beeinflusst wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie zu schaffen, die die genannten Nachteile vermeiden, sowie einen verbesserten Wirkungsgrad, vor allem bei Temperatur- und Druckniveaus, die beispielsweise näherungsweise den natürlichen Umgebungsbedingungen entsprechen, aufweisen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 vorgeschlagen. In den abhängigen Ansprüchen sind bevorzugte Weiterbildungen ausgeführt.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie aus einem Fluid in mechanische Energie durch Entspannung eines dampfförmigen Arbeitsmittels in einer mit einem Verdampfer verbundenen Entspannungsvorrichtung zur Verfügung gestellt, bei dem Wärmeenergie durch Wärmeaustausch in einem Verdampfer ein Arbeitsmittel verdampft und/oder Wärmeenergie mittels wenigstens einer oder mehreren hintereinander geschalteten Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau transformiert wird, um durch Wärmeaustausch das Arbeitsmittel in dem Verdampfer zu verdampfen, wobei das dampfförmige Arbeitsmittel ein aus mindestens zwei Komponenten gebildetes dampfförmiges Gemisch ist und in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung entspannt wird, wobei die bei der Entspannung freiwerdende Energie des Arbeitsmittels teilweise in mechanische Energie umgewandelt wird, und wobei wenigstens eine zweite dampfförmige Komponente nach der Niederdruck-Entspannung eine Temperaturerhöhung erfährt und wenigstens einer ersten Komponente des Arbeitsmittels Energie entzogen wird, so dass die in der entspannten, dampfförmigen, temperaturerhöhten zweiten Komponente/n des Arbeitsmittels enthaltene Energie in den Verdampfer rückführbar ist und zur Verdampfung von zusätzlichem Arbeitsmittel nutzbar ist.

Wärmeenergie, die durch Wärmeaustausch in einem Verdampfer ein Arbeitsmittel verdampft, kann beispielsweise durch wenigstens eine Energiequelle/n zur Verfügung gestellt werden, die einen guten Wirkungsgrad hat. Eine Energiequelle/n mit hohem Wirkungsgrad kann beispielsweise ausgewählt sein aus der Gruppe umfassend Wärmepumpe/n, Brennstoffzelle/n und/oder Solaranlage/n.

Solaranlagen im Sinne der Erfindung können auch Solarkollektoren umfassen.

Zumindest ein Teil der benötigten Energie, vorzugsweise die gesamte Energie, die zur Temperaturerhöhung der zweiten Komponente/n nach der Niederdruck-Entspannung erforderlich

ist, kann durch die bei einer Absorption und/oder Adsorption freiwerdende Energie gewonnen werden.

Die Begriffe „Absorption“ und „absorbiert“ haben im Sinne dieser Erfindung die Bedeutung von „Absorption und/oder Adsorption“ bzw. „absorbiert und/oder adsorbiert“.

Der Begriff „Entspannung“ bedeutet im Sinne dieser Erfindung eine mit einer Druckverminderung einhergehende Volumenzunahme.

Erfindungsgemäß kann weiterhin vorgesehen sein, dass mit der Wärmeenergie, die in einem Fluid in Form von fühlbarer oder latenter Wärme einer oder mehrerer Komponenten vorhanden ist, falls erforderlich nach einer Transformation auf ein höheres Temperaturniveau mittels einer oder mehrerer hintereinander angeordneten Wärmepumpen in einem Verdampfer ein Arbeitsmittel verdampft wird, dass die Entspannung in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung erfolgt und die im entspannten dampfförmigen Arbeitsmittel enthaltene Energie in den Verdampfer rückführbar ist, die zur Verdampfung zusätzlichen Arbeitsmittels nutzbar ist. Vorzugsweise weist das Verfahren eine erste Komponente des Arbeitsmittels auf, das durch ein Gemisch gebildet ist, in und/oder nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung mittels eines Absorptionsmittels absorbiert wird, wobei Wärme auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente übertragen wird.

Der zwischengeschaltete Wärmepumpenprozess zur Transformation des Temperaturniveaus des zu entspannenden Arbeitsmittels kann mit unterschiedlichen Ausführungsformen von Wärmepumpen, wie nachfolgend beschrieben, realisiert werden.

Zusätzlich kann vorgesehen werden, abhängig von der Größe der gewünschten Temperaturerhöhung, die Energie-Transformation zur Temperaturerhöhung auch mit mehreren hintereinandergeschalteten Wärmepumpenprozessen durchzuführen.

Wesentliches Merkmal des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Entspannung des Arbeitsmittels in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung, wobei die im entspannten dampfförmigen Arbeitsmittel enthaltene Energie in den Verdampfer rückführbar ist und zur Verdampfung zusätzlichen Arbeitsmittels nutzbar ist. Dazu wird das zu entspannende Arbeitsmittel durch ein Gemisch gebildet, und das Verfahren weist vorzugsweise wenigstens eine erste Komponente des Arbeitsmittels auf, das in und/oder nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung mittels eines Absorptionsmittels absorbiert und/oder mittels eines Adsorptionsmittels adsorbiert wird, wobei Wärmeenergie auf die verbleibende, dampfförmige zweite Komponente/n übergeht, die rückführbar ist.

Das Arbeitsmittel liegt bevorzugt als azeotropes Gemisch oder als Gemisch mit einer Siedepunkterniedrigung, bezogen auf den Siedepunkt der Komponente mit dem höchsten Siedepunkt, vor, wobei Arbeitsmittel in Form von Gemischen bevorzugt sind die eine Siedepunkterniedrigung von mindestens 5° C, bevorzugt von mindestens 10° C, weiter bevorzugt von mindestens 15° C, noch weiter bevorzugt von mindestens 20° C und am meisten bevorzugt von mindestens 25° C aufweisen, bezogen auf den Siedepunkt der Komponente mit dem höchsten Siedepunkt.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist das Arbeitsmittel-Gemisch bei einem bestimmten Mischungsverhältnis der Komponenten ein Azeotrop mit Siedepunktminimum. Bei azeotrop verdampfenden Gemischen mit Siedepunktminimum lassen sich je nach Typ die Verdampfungstemperaturen absenken, so dass diese unter den Kondensationstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen. Wird aus dem Dampfgemisch adiabat die erste Komponente absor-

biert, so geht die entsprechende Wärme auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente über. Der Entzug der Kondensationswärme kann dadurch auf einem erhöhten Temperaturniveau erfolgen. Insbesondere kann bei geeignet ausgewählten Azeotropmischungen die zweite dampfförmige Komponente im Verdampfer des Arbeitsmittels selbst unter Abgabe der Kondensationswärme kondensiert werden, so dass der entsprechende Anteil der Wärmeenergie in den Prozess zurückgeführt werden kann.

Erfindungsgemäß geeignet verwendbare Azeotropmischungen können ausgewählt sein aus der Gruppe umfassend, Pyridin/Wasser, Wasser/Ethanol, Wasser/Ethylacetat, Wasser/Dioxan, Wasser/Tetrachlorkohlenstoff, Wasser/Benzol, Wasser/Toluol, Ethanol/Ethylacetat, Ethanol/Benzol, Ethanol/Chloroform, Ethanol/Tetrachlorkohlenstoff, Ethylacetat/Tetrachlorkohlenstoff, Methanol/Tetrachlorkohlenstoff, Methanol/Benzol, Chloroform/Aceton, Toluol/Essigsäure, Aceton-Schwefelkohlenstoff und/oder Wasser/Silikon.

Gleichermaßen erfindungsgemäß verwendbare geeignete Azeotropmischungen können auch mehrkomponentige Systeme sein, d.h. diese Azeotropmischungen umfassen wenigstens drei Komponenten, oder wenigstens vier Komponenten. Grundsätzlich sind alle in der Literatur bekannten Azeotropmischungen, auf die in diesem Zusammenhang im vollen Umfang Bezug genommen wird, verwendbar, soweit diese erfindungsgemäß geeignet sind.

Bevorzugt ist, wenn die zu absorbierende erste Komponente Wasser ist, kann als Absorptionsmittel beispielsweise eine alkalische Silikatlösung eingesetzt werden.

Die Verwendung von Wasser ist vorteilhaft, da die Kondensationswärme von Wasser, d.h. von Gas auf flüssig besonders hoch ist. Die hierbei freiwerdende Wärmeenergie lässt sich in vorteilhafter Weise zur Erwärmung der zweiten Komponente/n verwenden.



Erfindungsgemäß geeignet verwendbare Absorptionsmittel und/oder Adsorptionsmittel können ausgewählt sein aus der Gruppe umfassend, Zeolithe, Silikate, anorganische Säuren, insbesondere Phosphorsäure, Halogensäuren, Schwefelsäure, Kieselsäure, organische Säuren, anorganische Salze und/oder organische Salze.

Geeignete Salze sind Alkali- und/oder Erdalkalisalze, insbesondere deren Halogensalze, wie Li Br, LiCl, MgCl<sub>2</sub> und dergleichen.

Als Absorptionsmittel und/oder Adsorptionsmittel sind grundsätzlich alle Substanzen geeignet, die ein Lösemittel des Arbeitsmittels absorbieren und/oder adsorbieren. Bevorzugt sind allerdings solche Absorptionsmittel und/oder Adsorptionsmittel die die absorbierte und/oder adsorbierte Komponente des Arbeitsmittels mit lediglich geringem Energieaufwand wieder freisetzen.

Vorteilhaft kann weiterhin sein, dass sich die Absorptionsmittel/Adsorptionsmittel nach Aufnahme einer ersten Komponente/n des Arbeitsmittels leicht von der zweiten Komponente/n des Arbeitsmittels abtrennen lassen.

Das Absorptionsmittel/Adsorptionsmittel zur Aufnahme wenigstens einer ersten Komponente/n des Arbeitsmittels kann in Vorteilhafterweise so gewählt sein, dass der Gesamtwirkungsgrad der erfindungsgemäßen Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie von Fluiden in mechanische Energie bei einer Ausgangs-Fluidtemperatur von 25° C ermittelt über 24 Stunden einschließlich der zur Trennung der ersten Komponente/n vom Absorptionsmittel/Adsorptionsmittel vorzugsweise noch bei > 40% liegt.

Das Arbeitsmittel für die Niederdruck-Entspannung, beispielsweise ein azeotropes Gemisch aus Wasser und Perchloräthylen, kann beispielsweise durch Wärmeaustausch mit Primärener-

gie aus Prozessdämpfen oder erwärmten Prozessflüssigkeiten und/oder Wärmespeichern verdampft werden. Die Absorption, bei der erfindungsgemäß die anfallende Absorptionswärme auf die zweite dampfförmig verbleibende Komponente übertragen wird, wodurch sich diese Komponente auf ein Temperaturniveau oberhalb der Siedetemperatur des azeotropen Gemisches erwärmt, kann in und/oder nach der Entspannungsvorrichtung erfolgen. Einer der wesentlichen Vorteile ist hierbei, dass durch die Entspannung des azeotropen Gemisches Wärmeenergie in mechanische Energie und mit Hilfe eines Generators in elektrische Energie umgewandelt werden kann und gleichzeitig das entspannte Arbeitsmittel, das im Entspannungsprozess bereits „Arbeit“ geleistet hat, durch die Trennung (Absorption) der ersten von der zweiten Komponente sich aufgrund der freiwerdenden Absorptionswärme erwärmt. Hierbei kann das verbleibende Arbeitsmittel nach der Entspannung zurückgeführt werden, um beispielsweise in einem Wärmetauscher seine Wärme abzugeben. Zum Beispiel ist es in einer Ausgestaltung der Erfindung möglich, dass das verbleibende Arbeitsmittel (nur zweite Komponente) in einen Wärmetauscher (Verdampfer) geleitet wird, in dem das verbleibende Arbeitsmittel kondensiert und aufgrund der entstehenden Kondensationswärme das flüssige Arbeitsmittel mit der ersten und der zweiten Komponente verdampft und anschließend wieder in die Entspannungsvorrichtung geführt wird. Hierdurch kann erfindungsgemäß der Wirkungsgrad des Verfahrens zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie wesentlich verbessert werden.

Das Arbeitsmittel für die Niederdruck-Entspannung ist vorzugsweise durch ein azeotropes Gemisch mit Siedepunktminimum oder nahezu azeotropes Gemisch gebildet. Im folgenden wird die Erfindung mit einem azeotropen Gemisch beschrieben, selbstverständlich kann die Erfindung ebenfalls auf nahezu azeotrope Gemische beziehungsweise auf nicht azeotrope Gemische bezogen werden. Hohe Wirkungsgrade lassen sich besonders mit einem azeotropen oder einem nahezu azeotropen Gemisch erzielen. Bei einem Einsatz eines azeotropen Gemi-

sches können je nach Typ deren Verdampfungstemperaturen abgesenkt werden, so dass diese unter den Verdampfungstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Arbeitsmittel eine geringe volumenspezifische beziehungsweise geringe molare Verdampfungsenthalpie auf. Damit wird erreicht, dass mit einer vorgegebenen Menge an Wärmeenergie eine große Menge an Treibdampf erzeugt wird.

Zumindest eine Komponente des Arbeitsmittels, bevorzugt die zweite Komponente, kann erfindungsgemäß bevorzugt einen Siedepunkt im Bereich von 20° C - 250° C, vorzugsweise von 40° C - 200° C, bevorzugt von 60° C - 150° C, noch bevorzugt von 80° C - 120° C und am meisten bevorzugt von 90° C - 100° C aufweisen.

Zumindest eine Komponente des Arbeitsmittels, bevorzugt die zweite Komponente, kann erfindungsgemäß bevorzugt eine molare Verdampfungswärme im Bereich von 5 KJ/mol – 15 KJ/mol, vorzugsweise von 6 KJ/mol – 14 KJ/mol, bevorzugt von 7 KJ/mol – 13 KJ/mol, noch bevorzugt von 8 KJ/mol – 12 KJ/mol und am meisten bevorzugt von 9 KJ/mol – 10 KJ/mol aufweisen.

Zumindest eine Komponente des Arbeitsmittels, bevorzugt die zweite Komponente, kann erfindungsgemäß bevorzugt eine geringe spezifische Wärmekapazität [cp] von < 1,2 J/g, vorzugsweise von 0,4 J/g – 1 J/g, bevorzugt von 0,5 J/g – 0,9 J/g, und am meisten bevorzugt von 0,6 J/g – 0,8 J/g aufweisen.

Vorzugsweise ist das Arbeitsmittel ein Lösemittelgemisch, das organische und/oder anorganische Lösemittelkomponenten aufweist. Beispiele hierfür sind etwa Gemische aus Wasser und Silikone/en.

Erfindungsgemäß bevorzugt verwendbare Silikone und/oder Derivate davon können einen Siedepunkt im Bereich von 20° C - 250° C, vorzugsweise von 40° C - 200° C, bevorzugt von 60° C - 150° C, noch bevorzugt von 80° C - 120° C und am meisten bevorzugt von 90° C - 100° C aufweisen.

Erfindungsgemäß bevorzugt verwendbare Silikone und/oder Derivate davon können eine Molare Verdampfungswärme im Bereich von 5 KJ/mol – 15 KJ/mol, vorzugsweise von 6 KJ/mol – 14 KJ/mol, bevorzugt von 7 KJ/mol – 13 KJ/mol, noch bevorzugt von 8 KJ/mol – 12 KJ/mol und am meisten bevorzugt von 9 KJ/mol – 10 KJ/mol aufweisen.

Erfindungsgemäß bevorzugt verwendbare Silikone und/oder Derivate davon können eine geringe spezifische Wärmekapazität [cp] von < 1,2 J/g, vorzugsweise von 0,4 J/g – 1 J/g, bevorzugt von 0,5 J/g – 0,9 J/g, und am meisten bevorzugt von 0,6 J/g – 0,8 J/g aufweisen.

Das Arbeitsmittel kann ein Gemisch aus Wasser und wenigstens einem oder mehreren Silikon/en aufweisen. Bevorzugt ist ein Mischungsverhältnis Wasser zu Silikon/en von 1 : 100 bis 1 : 2, weiter bevorzugt von 1 : 50, noch weiter bevorzugt von 1 : 25, außerdem bevorzugt von 1 : 15 und am meisten bevorzugt von 1 : 8 bis 1 : 10.

Vorteilhafterweise kann mindestens eine Komponente ein protisches Lösemittel sein.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist das Absorptionsmittel ein reversibles immobilisierbares Lösemittel, das in dem nicht-immobilisierten Aggregatzustand die erste Komponente des Arbeitsmittels ist. Das reversible Lösemittel im siedenden Arbeitsmittel kann sich vorteilhafterweise durch physikalisch-chemische Veränderungen so verändern, in dem es durch Ionisieren oder Komplexbildung aus der Dampfphase von dem nicht-immobilisierten

Zustand in den reversibel immobilisierten Zustand verändert werden kann und in der nicht-immobilisierten Form als Absorptionsmittel für das Arbeitsmittel wirkt. Somit enthält das dampfförmige Arbeitsmittel vor der Entspannung bereits das Absorptionsmittel (im nicht-immobilisierten Zustand). Das reversibel immobilisierte Lösemittel ist in einem dampfförmigen Aggregatzustand und geht durch physikalisch-chemische Veränderungen – wie zum Beispiel pH-Verschiebung, Veränderung des Molenbruches und der Temperatur in seiner Flüchtigkeit und/oder in seinem Dampfdruck - in den flüssigen Zustand über (vergleichbar mit Dampf als Lösemittel in nicht-immobilisierter Form und Wasser als reversibel immobilisierbares Lösemittel). Der Vorteil ist hierbei, dass das Arbeitsmittel aus zwei Komponenten besteht, wobei gleichzeitig die eine Komponente im reversiblen immobilisierten Zustand als Absorptionsmittel für die andere Komponente wirkt. Als pH-abhängige reversibel immobilisierbare Lösemittel können beispielsweise zyklische Stickstoffverbindungen - wie Pyridine – eingesetzt werden.

Die Absorption der ersten Komponente kann beispielsweise bereits in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung erfolgen. Des Weiteren ist es selbstverständlich möglich, dass eine Absorptionsvorrichtung, zum Beispiel als Wäscher ausgeführt, der der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung nachgeschaltet ist. In einer möglichen Ausgestaltung kann in der Absorptionsvorrichtung die Ionisierung des reversibel immobilisierbaren Lösemittels durch eine Elektrolyse oder durch ein Zusetzen von Elektrolyten erfolgen, wodurch das Lösemittel in seiner immobilisierten Form als Absorptionsmittel aus dem Arbeitsmittel entsteht. Gleichzeitig werden die das Absorptionsmittel durchströmenden Dämpfe des Arbeitsmittels ebenfalls ionisiert, so dass der Dampfdruck so abgesenkt wird, dass sich der Dampf der reversiblen immobilisierbaren Komponente im Arbeitsmittel niederschlägt. Das azeotrope Arbeitsmittel wird somit durch das Absorptionsmittel geführt, das die erste Komponente aufnimmt (absorbiert), wobei die frei werdende Absorptionsenergie auf die dampfförmige verbleibende zweite Komponente übergeht. Das Absorptionsmittel kann anschließend wieder zurück in den Verdampfer geleitet

werden, wo es beispielsweise durch Deionisation in einen nicht-ionischen Zustand überführt wird und mit der kondensierten Phase der verbleibenden zweiten Komponente als azeotropes Gemisch wieder verdampft wird.

Als Absorptionssysteme kommen neben den üblichen Wäschersystemen, wie zum Beispiel Venturiwäscher, auch Verdichter, Pumpen in Frage, die eine ausreichende Menge an Betriebsflüssigkeit aufweisen, wie zum Beispiel Wälzkolbenpumpen mit Einspritzung, Schraubenverdichter, Flüssigkeitsringpumpen oder Flüssigkeitsstrahlpumpen. Durch die Kombination des Prozesses mit einem polytropen Verdichtungssystem lassen sich Temperaturen bestimmter Gemische dem Bedarf anpassen.

Zweckmäßigerweise ist das Molverhältnis des Arbeitsmittels derart gewählt, dass der Druck in der Entspannung durch die Reduzierung der Anzahl der in der Gasphase verbleibenden Moleküle mehr abnimmt, als der Druck durch die Erwärmung des verbleibenden Gases zunimmt, damit der Aufbau eines sonst resultierenden Gegendruckes nach der Entspannungsvorrichtung vermieden wird.

Als Niederdruck-Entspannungsvorrichtung kann eine Vorrichtung verwendet werden, bei der weder die Masse des Dampfes noch das Druckverhältnis, sondern allein die Druckdifferenz relevant ist.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung als Wälzkolbengebläse - als Rootsgebläse – oder in Form von Ovalradpumpen ausgeführt. Vorteilhaft ist, dass das Wälzkolbengebläse als Entspannungsvorrichtungen (Entspannungsmotoren) schon mit einer Druckdifferenz von 500 mbar mit einem vollen Wirkungsgrad arbeiten können und in einem geschlossenen System bei Drücken von 10 bis 0,5 bar eingesetzt werden kann. Erfindungsgemäß kann das Wälzkolbengebläse mit mindestens einer Ein-

spritzöffnung ausgeführt sein, durch die das Absorptionsmittel und/oder ein protisches Lösemittel in das Wälzkolbengebläse einbringbar ist. Vorteilhafterweise erfolgt eine druckgesteuerte Einspritzung zur Verhinderung von Flüssigkeitsschäden. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei den genannten Entspannungsrichtungen nur die Druckdifferenz und nicht die Masse oder das Entspannungsverhältnis für den Wirkungsgrad maßgebend ist.

Zweckmäßigerweise weist das Wälzkolbengebläse eine gasdichte Dichtung zwischen Schöpfraum und Getrieberaum auf, wobei in einer weiteren Ausführungsform das Wälzkolbengebläse mehrflügelige Rotoren umfasst.

Das Wälzkolbengebläse weist ferner eine Welle auf, die mit dem Generator verbunden werden kann, wodurch die mechanische in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Die Verwendung von einem Wälzkolbenmotor als Niederdruckentspannungsrichtung eröffnet - insbesondere bei der Nutzung von Abwärme mit einer Temperatur von weniger als ungefähr 100°C für den Antrieb von beispielsweise Pumpen oder Generatoren - die Möglichkeit, zum einen den Prozess durch Einspritzung von Absorptionsmitteln zu unterstützen, und zum anderen wegen der geringen Druck- und Temperaturdifferenzen die verbleibende Energie im entspannten dampfförmigen Arbeitsmittel, wie oben beschrieben, wieder auf ein erhöhtes Temperaturniveau zu transformieren und damit rückführbar zu machen.

Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass das Wälzkolbengebläse ein unter Druckstehendes Arbeitsmittel entspannt und nicht verdichtet.

Bei einer weiteren Ausführung der Erfindung kann eine Trennanordnung vorgesehen sein, die die absorbierte erste Komponente vom Absorptionsmittel trennt. Die Trennanordnung kann beispielsweise als Membransystem ausgebildet sein, das der Absorptionsvorrichtung nachgeschaltet ist. Die desorbierte flüssige, erste Komponente wird zweckmäßigerweise zurück in

den Verdampfer geleitet, in dem sie mit der zweiten flüssigen Komponente zusammen als azeotropes Arbeitsmittel verdampft. Das Absorptionsmittel kann zum Beispiel zur Entspannungsvorrichtung geführt werden, in der es in das sich entspannende Arbeitsmittel eingespritzt wird. In einer weiteren Alternative kann das Absorptionsmittel in den Wäscher zurückgeführt werden, in dem die Absorption der ersten Komponente aus dem Arbeitsmittel erfolgt. Als Absorptionsmittel können Öle verwendet werden, aus denen sich die erste Komponente des Arbeitsmittels beispielsweise durch ein Membransystem vollständig wieder austreiben lässt.

Die Trennung der ersten absorbierten Komponente im Absorptionsmittel kann alternativ durch einen Verdampfungsvorgang der absorbierten Komponente durchgeführt werden.

Vorzugsweise wird die nach der Absorptionsvorrichtung verbleibende zweite Komponente, die erfindungsgemäß trotz Entspannung Wärme aufgrund der Absorption der ersten Komponente aufgenommen hat, in einen Wärmetauscher geleitet und kondensiert. Der Wärmetauscher ist vorzugsweise ein Verdampfer, in dem die erste und die zweite Komponente als Arbeitsmittel verdampft werden.

Vorzugsweise ist das Arbeitsmittel ein azeotropes Gemisch aus Wasser und Silikon. Das Wasser ist hierbei die erste, absorbierende Komponente und Silikon die zweite Komponente. Zweckmäßigerweise ist das Absorptionsmittel ein Silikat. Vorteilhafterweise ist das Absorptionsmittel eine alkalische molekulardisperse Silikatlösung, wobei das in der alkalischen Silikatlösung absorbierte Wasser beispielsweise durch Erhitzen desorbiert wird.

Die Aufgabe der Erfindung wird ebenfalls durch eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie mit den Merkmalen des Anspruchs 24 gelöst. In den abhängigen Ansprüchen sind bevorzugte Weiterbildungen ausgeführt.



Erfindungsgemäß wird eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie zur Verfügung gestellt, die folgende Komponenten umfasst:

- a) eine Verdampfereinheit, in der ein Arbeitsmittel, das durch ein Gemisch gebildet ist, verdampfbar ist,
- b) eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung,
- c) eine Absorptionsvorrichtung und/oder Adsorptionsvorrichtung, die in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung integriert ist und/oder der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung nachgeschaltet ist,
- d) eine Trennvorrichtung, die als Membransystem oder thermisches Austreibersystem ausgebildet ist, in der die absorbierte Komponente vom Absorptionsmittel getrennt wird, und eine Pumpe, mit der das Absorptionsmittel zur Trennvorrichtung und zurück zur Absorptionsvorrichtung gefördert wird,
- e) wenigstens eine Energiequelle die mit der Verdampfereinheit in Kontakt steht, mittels derer Wärmeenergie erzeugbar ist, die von einem Fluidstrom im Verdampfer aufgenommen wird, um den Fluidstrom auf ein höheres Temperaturniveau zu transformieren.

Die Energiequelle/n kann eine Wärmepumpe/n, eine Brennstoffzellen und/oder Solaranlage/n sein. Bevorzugt ist die Verwendung wenigstens einer Wärmepumpe angesichts der vorteilhaften Energiebilanz. Wärmepumpen lassen sich vorteilhaft bei niedrigen Umgebungstemperaturen einsetzen. Solaranlagen benötigen eine ausreichend hohe Sonneneinstrahlung, so dass in kälteren Regionen häufig der Einsatz von Wärmepumpen bevorzugt sein kann. Brennstoffzellen können ebenfalls aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades Verwendung finden.

Es kann bevorzugt sein Brennstoffzellen in Kombination mit Solaranlagen und/oder Wärmepumpen einzusetzen. Generell kann es vorteilhaft sein, verschiedenartige Energiequellen zu

verwenden, um je nach Umgebungsbedingungen den Wirkungsgrad der erfindungsgemäßen Anlage zu optimieren.

Erfindungsgemäß bezieht sich die Erfindung auf eine Anlage mit einem Verdampfer, in dem ein Arbeitsmittel, das durch ein Gemisch, vorzugsweise ein azeotropes Gemisch, gebildet ist, verdampfbar ist, mit einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung, mit einer Absorptionsvorrichtung, die in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung integriert ist und/oder der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung nachgeschaltet ist, wobei in der Absorptionsvorrichtung eine erste Komponente des Arbeitsmittels durch ein Absorptionsmittel absorbierbar ist und Wärme auf die verbleibende, dampfförmige zweite Komponente übertragbar ist, die rückführbar ist.

In der Ausführungsform, in der mit der Wärmeenergie des Fluids zunächst ein erstes Arbeitsmittel verdampft wird, das dann mit einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau transformiert wird, um dort ein "zweites" Arbeitsmittel für die Niederdruck-Entspannung zu verdampfen, das anschließend in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung entspannt wird, wobei die Wärmeenergie zum Teil in mechanische Energie umgesetzt wird, bezieht sich die Erfindung auf eine Anlage, die zusätzlich eine oder auch mehrere Wärmepumpen in unterschiedlichen Ausführungsformen umfasst.

In einer ersten Ausführungsform für eine derartige Wärmepumpe ist vorgesehen, dass einerseits die Temperaturerhöhung des Arbeitsmittels durch eine mechanische Verdichtung erfolgt und andererseits die Temperatur des Arbeitsmittels zusätzlich im Verdichter durch einen Wärmeaustausch mit einem Betriebsmittel, das unmittelbar in Kontakt mit dem Arbeitsmittel steht, und/oder andererseits zusätzlich mittels eines Betriebsmittels, das als Absorptionsmittel wirkt, erhöht wird, wobei das Absorptionsmittel eine erste Komponente des Arbeitsmittels, das durch ein Gemisch gebildet ist, in und/oder nach dem Verdichter absorbiert, wobei Wärme auf die verbleibende, dampfförmige zweite Komponente übergeht. Der Wirkungsgrad,

insbesondere für Wärmepumpen, lässt sich durch das erfindungsgemäße Verfahren erheblich verbessern.

Zum einen erfolgt die Temperaturerhöhung des Arbeitsmittels aufgrund der Verdichtung des Arbeitsmittels. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Temperaturerhöhung durch einen Wärmetausch mit dem Betriebsmittel zu realisieren. Hierbei ist der Verdichter vorzugsweise als flüssigkeitsüberlagerter Verdichter ausgebildet. Beispielsweise kann es sich hierbei um eine Flüssigkeitsringpumpe oder einen flüssigkeitsüberlagerten Schraubenverdichter handeln. Besonders vorteilhaft ist, dass diese flüssigkeitsüberlagerten Verdichter mit hochsiedenden Betriebsmitteln betrieben werden können. Da in den flüssigkeitsüberlagerten Verdichtern das Betriebsmittel keine Schmierfunktion sondern eine reine Dichtungsfunktion ausübt, können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren praktisch beliebige Arbeitsmittel bis hin zu Wasser eingesetzt werden, die hohe molare Verdampfungswärmen aufweisen, im Niederdruckbereich große Temperatursprünge haben und hohe Betriebstemperaturen des Verdichters erlauben.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen verfahrenstechnischen Trennung von Verdichtung und Erwärmung in der Flüssigkeitsringpumpe liegt in der Möglichkeit, Temperaturen des Arbeitsmittels nach der Temperaturerhöhung von über 180°C realisieren zu können. Besonders günstig sind Betriebsmittel wie hochsiedende Silikonöle oder Diesteröle oder Weichmacher wie Dioctylphthalat mit Viskositäten bis zu 50 centistoke (cts). Vorteilhafterweise ist die Siedetemperatur des Betriebsmittels höher als die Temperatur des Arbeitsmittels nach der Temperaturerhöhung.

Ferner ist es möglich, dass das Arbeitsmittel der Wärmepumpe ein einkomponentiges Lösemittel ist, beispielsweise Wasser oder ein höhersiedendes Lösemittel.

Vorzugsweise ist dem Verdichter eine Trennanordnung nachgeschaltet. Bei der Verwendung eines flüssigkeitsüberlagerten Verdichters besteht die Möglichkeit, dass sich im dampfförmigen Arbeitsmittel geringe Mengen des Betriebsmittels des Verdichters anreichern können. Die Trennanordnung sorgt dafür, dass diese Anteile aufgefangen werden und wieder zurück zum Verdichter geführt werden. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann ein Aerosolabscheider der Trennanordnung nachgeschaltet sein, der kleinste Partikel (Tröpfchen) des Betriebsmittels aus dem dampfförmigen Arbeitsmittel auffangen kann, die ebenfalls zum Verdichter befördert werden. Etwaig sich ansammelndes Öl kann in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wieder in den Verdichter gefördert werden.

Zweckmäßigerweise ist der Trennanordnung und/oder dem Aerosolabscheider ein Kondensator nachgeschaltet, wobei das anfallende Kondensat des Arbeitsmittels dem Verdampfer zugeführt wird. Im Kondensator kondensiert das Arbeitsmittel unter einem erhöhtem Druck, der durch den Verdichter erzeugt wurde, wobei das Arbeitsmittel Wärme auf einem hohen Temperaturniveau abgeben kann. Das anfallende Kondensat gelangt vorzugsweise über ein Entspannungsventil wieder zum Verdampfer zurück.

Die Temperaturerhöhung des dampfförmigen Arbeitsmittels kann erfindungsgemäß zum anderen zusätzlich neben der mechanischen Verdichtung auch durch Absorption einer Komponente des Arbeitsmittels, das in diesem Fall aus einem Gemisch von mindestens 2 Komponenten gebildet wird, in einem Absorptionsmittel realisiert werden, wobei die frei werdende Absorptionswärme auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente übertragen wird. Die dazu verwendeten Absorptionssysteme können neben den üblichen Wäschersystemen, wie z.B. Venturiwäschern, auch Verdichtersysteme sein, die eine ausreichende Menge an Betriebsflüssigkeit haben, wie die bereits genannten und in ihrer Wirkungsweise erläuterten Flüssigkeitsringpumpen.

Eine besonders günstige Ausführungsform der Erfindung für den Wärmepumpenprozess sieht die Verwendung azeotroper Gemische als Arbeitsmittel vor, wobei das Betriebsmittel des Verdichters als Absorptionsmittel für eine Komponente des Arbeitsmittels wirkt. Das bedeutet, dass das Gemisch ein azeotropes Verhalten zeigt. Wird bei der Verdichtung eine Komponente beim Durchgang des dampfförmigen Arbeitsmittels extrahiert, so wird die bei deren Phasenübergang frei werdende Wärme auf die weiterhin dampfförmige Komponente übertragen, wodurch eine zusätzliche Temperaturerhöhung des Arbeitsmittels bewirkt wird. In einer Ausführungsform der Erfindung ist das Gemisch bei einem bestimmten Mischungsverhältnis der Komponenten ein Azeotrop mit Siedepunktminimum. Bei azeotrop verdampfenden Gemischen mit Siedepunktminimum lassen sich je nach Typ die Verdampfungstemperaturen absenken, so dass diese unter den Kondensationstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen. Wird aus dem Dampfgemisch adiabatisch die erste Komponente absorbiert, so geht die entsprechende Wärme auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente über. Der Entzug der Kondensationswärme kann dadurch auf einem erhöhten Temperaturniveau erfolgen.

Das Arbeitsmittel, beispielsweise ein azeotropes Gemisch aus Wasser mit Perchloräthylen oder Silikonen, kann zum Beispiel durch Wärmeaustausch mit dem Fluid aus Prozessdämpfen oder erwärmten Prozessflüssigkeiten und/oder Wärmespeichern oder sonstigen beliebigen Fluiden verdampft werden. Die Absorption, bei der erfindungsgemäß die anfallende Absorptionswärme auf die zweite dampfförmig verbleibende Komponente übertragen wird, wodurch sich diese Komponente auf ein Temperaturniveau oberhalb der Siedetemperatur des azeotropen Gemisches erwärmt, kann in und/oder nach dem Verdichter erfolgen. Einer der wesentlichen Vorteile ist hierbei, dass das verdichtete Arbeitsmittel durch die Trennung (Absorption) der ersten von der zweiten Komponente sich aufgrund der freiwerdenden Absorptionswärme zusätzlich erwärmt.

Das Arbeitsmittel ist vorzugsweise durch ein azeotropes Gemisch mit Siedepunktminimum oder nahezu azeotropes Gemisch gebildet. Im folgenden wird die Erfindung mit einem azeotropen Gemisch beschrieben, selbstverständlich kann die Erfindung ebenfalls auf nahezu azeotrope Gemische beziehungsweise auf nicht azeotrope Gemische bezogen werden. Hohe Wirkungsgrade lassen sich besonders mit einem azeotropen oder einem nahezu azeotropen Gemisch erzielen. Bei einem Einsatz eines azeotropen Gemisches können je nach Typ die Verdampfungstemperaturen abgesenkt werden, so dass diese unter den Verdampfungstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen.

Vorzugsweise ist das Arbeitsmittel ein Lösemittelgemisch, das organische und/oder anorganische Lösemittelkomponenten aufweist. Beispiele hierfür sind etwa Gemische aus Wasser und ausgewählten Silikonen. Vorteilhafterweise kann mindestens eine Komponente auch ein protisches Lösemittel sein.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist das Absorptionsmittel ein reversibles immobilisierbares Lösemittel, das in dem nicht-immobilisierten Aggregatzustand die erste Komponente des Arbeitsmittels ist. Das reversible Lösemittel im siedenden Arbeitsmittel kann sich vorteilhafterweise durch physikalisch-chemische Veränderungen so verändern, in dem es durch Ionisieren oder Komplexbildung aus der Dampfphase von dem nicht-immobilisierten Zustand in den reversibel immobilisierten Zustand verändert werden kann und in der nicht-immobilisierten Form als Absorptionsmittel für das Arbeitsmittel wirkt. Somit enthält das dampfförmige Arbeitsmittel vor der Verdichtung bereits das Absorptionsmittel (im nicht-immobilisierten Zustand). Das reversibel immobilisierte Lösemittel ist in einem dampfförmigen Aggregatzustand und geht durch physikalisch-chemische Veränderungen – wie zum Beispiel pH-Verschiebung, Veränderung des Molenbruches und der Temperatur in seiner Flüchtigkeit und/oder in seinem Dampfdruck - in den flüssigen Zustand über (vergleichbar mit Dampf als Lösemittel in nicht-immobilisierter Form und Wasser als reversibel immobilisierbares Löse-

mittel). Der Vorteil ist hierbei, dass das Arbeitsmittel aus zwei Komponenten besteht, wobei gleichzeitig die eine Komponente im reversiblen immobilisierten Zustand als Absorptionsmittel für die andere Komponente wirkt. Als pH-abhängige reversibel immobilisierbare Lösemittel können beispielsweise zyklische Stickstoffverbindungen - wie Pyridine - eingesetzt werden.

Vorteilhaft ist eine elektrochemische Veränderung durch die oben genannte Elektrolyse einer der Komponenten oder eines zugesetzten Elektrolyten zu erreichen. Im ungeladenen beziehungsweise nicht dissoziierten Zustand wird das reversibel immobilisierbare Lösemittel sich als Lösemittelgemisch mit der zweiten Komponente azeotrop verhalten und dem eingestellten Druck-Temperaturniveau entsprechend verdampfen. Verwendet man aber als Waschflüssigkeit das reversibel immobilisierbare Lösemittel in der ionisierten beziehungsweise dissoziierten Form, so kann es in beliebiger Menge aufgenommen und in den Verdampfer zurückgegeben werden, um hier wieder deionisiert beziehungsweise undissoziiert in die Verdampfung einzugehen.

Als Absorptionssysteme kommen neben den üblichen Wäschersystemen, wie zum Beispiel Venturiwäscher, auch Verdichter, Pumpen in Frage, die eine ausreichende Menge an Betriebsflüssigkeit aufweisen, wie zum Beispiel Wälzkolbenpumpen mit Einspritzung, Schraubenverdichter, Flüssigkeitsringpumpen oder Flüssigkeitsstrahlpumpen. Durch die Kombination des Prozesses mit einem polytropen Verdichtungssystem lassen sich Temperaturen bestimmter Gemische dem Bedarf anpassen, in dem zum Beispiel Abwärme aus einem Entspannungsprozess durch volumetrische Förderung des Gases der angebotenen Wärmeleistung entsprechend entzogen wird, ohne auf der Verdampferseite einen Überdruck erzeugen zu müssen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie aus Fluiden in mechanische Energie kann für sehr unterschiedliche Fluide, die entweder als einkomponentige Fluide oder als Fluidgemische vorliegen, verwendet werden. Auch können die Fluide entweder gasförmig sein oder als Flüssigkeiten vorliegen. Bei gasförmigen Fluiden ist das Vorhandensein kondensierbarer Komponenten, die bei der erfindungsgemäßen Verdampfung eines "ersten" Arbeitsmittels durch Unterschreiten des Taupunktes kondensieren, besonders vorteilhaft, da die dabei freigesetzte Kondensationswärme, die als latente Wärme vorhanden ist, meist das nutzbare Energieangebot deutlich erhöht, weil die latenten Wärmeenergien bei Phasenübergängen kondensierbare Gase meist deutlich höher liegen als die fühlbaren Wärmeenergien bei Permanentgasen, wobei vorteilhaft der Phasenübergang noch bei gleichbleibender Temperatur abläuft.

Beispiele für derartige Fluide können etwa Abluft- oder Abwasserströme aus industriellen Kühl-, Wärmeaustausch- oder Entspannungsprozessen sein.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Umwandlung der Wärmeenergie aus der atmosphärischen Luft mit dem darin als Luftfeuchtigkeit gelösten Wasserdampf.

Unter energetischen Gesichtspunkten stellt die Atmosphärenluft mit dem darin gelösten Wasserdampf ein großes, praktisch unerschöpfliches Energiereservoir dar. Entscheidend ist dabei, dass unter Berücksichtigung aktueller meteorologischer Daten dieses Energiereservoir, das von der fühlbaren Wärme der Luft und der latenten Wärme des Wasserdampfes gebildet wird, überall auf der Welt, also standortunabhängig vorhanden ist. Dieses Energiereservoir wird von der Sonneneinstrahlung ständig nachgefüllt. Letztlich ist also die Umwandlung der in feuchter Luft enthaltenen Wärmeenergie in mechanische Energie eine indirekte Nutzung der Wärmeenergie aus der Sonnenstrahlung.



Der entscheidende Vorteil von Luft mit dem darin als Luftfeuchtigkeit gelösten Wasserdampf als Energiespeicher für die Sonnenstrahlung liegt in ihrem fluiden Charakter, so dass sie aufgrund natürlicher oder erzeugter Strömung in großen Volumenströmen durch Wärmeaustauschapparate geführt werden kann, so dass die apparatetechnisch nutzbare Menge an Wärmeenergie zeitlich und räumlich von der begrenzten Strahlungsleistung der Sonne entkoppelt werden kann. Damit kann dieses unerschöpfliche und an allen Standorten weltweit gegebene Energiereservoir jederzeit und standortunabhängig technisch genutzt werden.

Mit Bezug auf die vorstehenden Ausführungen sieht eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, die Wärmeenergie aus feuchter Umgebungsluft in einen Verdampfer zur Verdampfung eines geeigneten Arbeitsmittels aufzunehmen und, falls erforderlich nach einer abhängig von den realen Umgebungsbedingungen bei Temperatur und Feuchtigkeit Transformation auf ein höheres Temperaturniveau mit einer oder mehreren Wärmepumpen den Dampf über eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung entsprechend den vorstehenden Ausführungen zu entspannen, wobei zum Teil die Wärmeenergie in mechanische Energie umgewandelt wird und die noch im entspannten Arbeitsmittel enthaltene Energie rückführbar ist. Dabei werden einerseits die gasförmigen Anteile abgekühlt, andererseits abhängig von den Temperaturniveaus der Wärmeaustauschprozesse die enthaltene Luftfeuchtigkeit zum überwiegenden Teil kondensiert, wobei die hohe Kondensationswärme des Wassers für den Prozess gewonnen wird.

Bei hinreichend hohen Umgebungstemperaturen und Luftfeuchtigkeiten sowie der Verwendung von azeotropen Mischungen mit hinreichend niedrigen Siedepunkten als Arbeitsmittel kann die Umwandlung vorteilhafterweise auch ohne Zwischenschaltung einer Wärmepumpe realisiert werden.

Der mittlere Arbeitsziffer der erfindungsgemäßen Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie von Fluiden in mechanische Energie bei einer Ausgangs-Fluidtemperatur von 25° C ermittelt über 24 Stunden macht 2,5 bis 12 aus. Die mittlere Arbeitsziffer kann für erfindungsgemäße Anlagen 3 bis 10 oder 4 bis 8 ausmachen. Bevorzugt liegt die mittlere Arbeitsziffer für erfindungsgemäße Anlagen bei 5 bis 6.

Arbeitsziffern oberhalb von 4 kann man beispielsweise durch die Verwendung von Absorptionswärmepumpen und/oder Wärmepumpen mit Flüssigkeitsüberlagerten Verdichtersystemen erreichen, wie beispielsweise in der PCT/EP2004/053651 beschrieben sind, auf die hier im vollen Umfang Bezug genommen wird.

Der Gesamtwirkungsgrad der erfindungsgemäßen Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie von Fluiden in mechanische Energie bei einer Ausgangs-Fluidtemperatur von 25° C ermittelt über 24 Stunden liegt vorzugsweise bei > 40%, bevorzugt > 50% und besonders bevorzugt bei > 60%.

Es lassen sich beispielsweise 15% bis 40%, vorzugsweise 20% bis 35% und bevorzugt 25% bis 30%, der freiwerdenden Energie durch die Entspannung des Arbeitsmittels an der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung für die Umsetzung in mechanische Energie nutzen.

Bei der Energiegewinnung aus der Luft können erfindungsgemäße Anlagen Luftmengen von 1,6 m<sup>3</sup>/h bis 160.000 m<sup>3</sup>/h Energie entziehen. Es können natürlich noch wesentlich größeren Luftmengen Energie entzogen werden. Als wirtschaftlich für einen Haushalt hat sich jedoch eine Dimensionierung im Bereich von 160 m<sup>3</sup>/h bis 1.600 m<sup>3</sup>/h erwiesen.

Aus Luftmengen von 16 m<sup>3</sup>/h bis 160.000 m<sup>3</sup>/h mit 25° C lassen sich beispielsweise mit erfindungsgemäßen Anlagen 0,1 KW bis 1000 KW Strom erzeugen.

Mit erfindungsgemäßen Anlagen lassen sich aus Luftmengen von 160 m<sup>3</sup>/h mit 25° C beispielsweise 1 KW Strom und aus Luftmengen von 1600 m<sup>3</sup>/h mit 25° C lassen sich beispielsweise 10 KW Strom erzeugen.

Die erfindungsgemäßen Anlagen können natürlich allen Arten von Gasen und/oder Flüssigkeiten Energie entziehen, soweit diese die Anlage nicht schädigen. Gase zur Energiegewinnung können beispielsweise ab einer Temperatur von mindestens 15° C bis zu 250° C oder sogar bis 350° C oder noch darüber genutzt werden. Gase mit hohen Temperaturen fallen üblicherweise als Prozessgase an. Temperaturen von 300° C oder darüber fallen bei Betriebsmitteln wie Öle oder dergleichen an.

Erfindungsgemäß bevorzugt ist es jedoch die Wärmeenergie von Umgebungsluft zu nutzen, die üblicherweise mindestens 15° C bis zu 50° C, vorzugsweise 20° C bis 40° C und bevorzugt 25° C bis 35° C ausmacht.

Bei den erfindungsgemäßen Anlagen kann es vorteilhaft sein, wenn die Temperatur T1 des Arbeitsmittels vor der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung höher ist, als die Temperatur T2 des Arbeitsmittels nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung und vor der Absorptionsvorrichtung. Hingegen ist die Temperatur T3 des Arbeitsmittels in der Verdampfereinheit höher als die Temperatur T2 des Arbeitsmittels nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung und vor der Absorptionsvorrichtung.

Die Temperatur des Arbeitsmittels im Verdampfer kann 10° C bis 250° C, vorzugsweise 20° C bis 200° C, bevorzugt 30° C bis 150° C, weiter bevorzugt 40° C bis 130° C und besonders bevorzugt 50° C bis 100° C aus. Am meisten bevorzugt liegt die Temperatur des Arbeitsmittels im Verdampfer oberhalb der Siedetemperatur.

Der Druck des Arbeitsmittels vor der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung kann im Bereich von 0,3 bar bis 15 bar liegen. Höhere Drücke sind möglich, allerdings bedürfen derartige Anlagen einen erhöhten Materialaufwand, so dass das Arbeitsmittel in der Zuleitung vom Verdampfer zu der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung vorzugsweise im Bereich von 1 bar bis 10 bar, weiter bevorzugt im Bereich von 1,5 bar bis 8 bar, noch bevorzugt im Bereich von 2 bar bis 6 bar und außerdem bevorzugt im Bereich von 3 bar bis 4 bar, liegen.

Die Druckdifferenz  $\Delta P$  des Arbeitsmittels vor der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung und unmittelbar nach der Entspannung des Arbeitsmittels aber vor der Absorptionseinrichtung sollte  $\Delta P$  0,1 bar bis 5 bar, vorzugsweise sollte  $\Delta P$  0,5 bar bis 3 bar und bevorzugt sollte  $\Delta P$  0,75 bar bis 1 bar ausmachen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf Figur 1 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung im einzelnen beschrieben wird. Dabei können die in den Ansprüchen und der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigt

Figur 1            eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie aus feuchter Umgebungsluft in mechanische Energie.

Hierbei wird eine Ausführungsform mit einer vorgeschalteten, mechanisch angetriebenen Wärmepumpe und einer Niederdruck-Entspannung mit einem azeotropen Gemisch als Arbeitsmittel zugrundegelegt.

Mit Hilfe eines Ventilators (1) wird eine erzwungene Luftströmung in einem Wärmetauscher (2) abgekühlt. Um den Wirkungsgrad des Prozesses zu verbessern, kann die Zuluft in einem Luft-Luft-Wärmetauscher (3) durch Wärmetausch mit der abgekühlten Luft vorgekühlt werden.

Der Wärmetauscher (2) dient als Verdampfereinheit einer Wärmepumpe, die als weitere Funktionsbausteine den Verdichter (4), die Wärmeaustauscheinheit (5), die als Kondensator der Wärmepumpe fungiert, sowie das Entspannungsventil (6) bildet.

Mit der Wärmepumpe wird die im Verdampfer (2) aus der Kondensation der Luftfeuchtigkeit, zusätzlich zu der Abkühlung der Luft, gewonnene Energie auf ein höheres Temperaturniveau transformiert und gibt in der Wärmeaustauscheinheit (5) durch Kondensation die Wärme auf diesem hohen Temperaturniveau ab. Die freigesetzte Energie wird zur Verdampfung eines azeotropen Gemisches genutzt, das als Arbeitsmittel eines energetischen Kreisprozesses verwendet wird. Der in der Verdampfereinheit (7) aus dem azeotropen Gemisch hergestellte Brüden wird über eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (8) entspannt, wobei an der Welle eine mechanische Kraft auftritt, die mit Hilfe des Generators (9) in Strom umgewandelt wird.

Der entspannte Brüden wird in einem nachgeschalteten Wäscher (10) getrennt, in dem das oben in den Wäscher (10) eingespritzte Absorbens eine der Komponenten absorbiert. Die dabei frei werdende Absorptionswärme wird auf die andere, dampfförmig bleibende Komponente übertragen, wodurch der Restbrüden auf ein Temperaturniveau oberhalb der Siedetemperatur des azeotropen Gemisches erwärmt wird. Der Restbrüden gibt seine Kondensationswärme in der Wärmeaustauscheinheit (13) ab, die in der Verdampfereinheit (7) integriert ist. Die in (13) verflüssigte Komponente wird mit Hilfe der Pumpe (14) zurück in den Spei-

cher für das azeotrope Gemisch transportiert, und steht hier zur Vermischung mit der anderen Komponente erneut zur Verfügung.

Die im Wäscher absorbierte Komponente wird mit Hilfe der Pumpe (11) einem Membranfilter (12) zugeleitet, in dem diese Komponente von der Absorptionsflüssigkeit wieder getrennt wird. Der mit der Pumpe (11) erzeugte Druck reicht aus, das Absorbens einerseits wieder dem Wäscher zuzuführen, andererseits die 2. Komponente der Verdampfereinheit (7) zuzuführen. Dabei werden die beiden Komponenten im Speicherraum der Verdampfereinheit wieder miteinander vermischt.

Zur Herstellung des Treibdampfes aus dem azeotropen Gemisch tragen also 2 Energieanteile bei: Einerseits die mit der Wärmepumpe (2, 4, 6, 5) aus der abgekühlten Luft und der kondensierten Luftfeuchtigkeit gewonnene und auf das hohe Temperaturniveau der Verdampfung transformierte Energie, andererseits die im energetischen Kreisprozess nach der Entspannung zurückgeführte Absorptionsenergie aus der Treibdampftrennung des aus einem azeotropen Gemisch erzeugten Brüden. Diese Rückführung der Energie stellt erfindungsgemäß den guten Wirkungsgrad der Stromgewinnung aus Luft sicher.

Für den Antrieb des Verdichters (4) der Wärmepumpe kann in einer günstigen Ausführungsform auch ein Motor verwendet werden, der entweder mit Diesel oder Erdgas oder auch mit biogenen Kraftstoffen, wie z.B. Biogas, Rapsöl oder Bio-Diesel u.ä., betrieben wird. In dieser Variante kann ein zusätzlicher Energieanteil für die Verdampfereinheit (7) aus der Motorabwärme oder der Abgaswärme des Motors (16) gewonnen werden. Mit einer solchen Anordnung wird zum einen der Wirkungsgrad des Gesamtprozesses weiter verbessert, zum anderen soll diese Anordnung das "Anfahren der Anlage" vereinfachen.

**Bezugszeichenliste**

- |    |  |
|----|--|
| 1  | Ventilator                                 |
| 2  | Wärmetauscher, Verdampfer 1                |
| 3  | Luft-Luft-Wärmetauscher (Vorkühler)        |
| 4  | Verdichter                                 |
| 5  | Wärmeaustauscheinheit                      |
| 6  | Entspannungsventil                         |
| 7  | Verdampfereinheit, Verdampfer 2            |
| 8  | Entspannungsvorrichtung, Wälzkolbengebläse |
| 9  | Generator                                  |
| 10 | Wäscher, Absorptionsvorrichtung            |
| 11 | Pumpe                                      |
| 12 | Trennvorrichtung, Membranfilter            |
| 13 | Wärmeaustauschereinheit                    |
| 14 | Pumpe                                      |
| 15 | Motor / BHKW                               |
| 16 | Zuleitung                                  |

## **Patentansprüche**

1. Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie aus einem Fluid in mechanische Energie durch Entspannung eines dampfförmigen Arbeitsmittels in einer mit einem Verdampfer (7) verbundenen Entspannungsvorrichtung,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass Wärmeenergie durch Wärmeaustausch in einem Verdampfer (7) ein Arbeitsmittel verdampft und/oder dass Wärmeenergie mittels wenigstens einer oder mehreren hintereinander geschalteten Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau transformiert wird, um durch Wärmeaustausch das Arbeitsmittel in dem Verdampfer (7) zu verdampfen, wobei das dampfförmige Arbeitsmittel ein aus mindestens zwei Komponenten gebildetes dampfförmiges Gemisch ist und in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (8) entspannt wird, wobei die bei der Entspannung freiwerdende Energie des Arbeitsmittels teilweise in mechanische Energie umgewandelt wird, und wobei wenigstens eine zweite dampfförmige Komponente nach der Niederdruck-Entspannung eine Temperaturerhöhung erfährt und wenigstens einer ersten Komponente des Arbeitsmittels Energie entzogen wird, so dass die in der entspannten, dampfförmigen, temperaturerhöhten zweiten Komponente/n des Arbeitsmittels enthaltene Energie in den Verdampfer rückführbar ist und zur Verdampfung von zusätzlichem Arbeitsmittel nutzbar ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Teil der benötigten Energie, vorzugsweise die gesamte Energie, die zur Temperaturerhöhung der zweiten Komponente/n nach der Niederdruck-Entspannung erforderlich ist, durch die bei einer Absorption und/oder Adsorption freiwerdende Energie gewinnbar ist.



3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel durch ein Gemisch gebildet ist und eine erste Komponente in und/oder nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung mittels eines Absorptionsmittels absorbiert wird, wobei Wärme auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente übergeht, die rückführbar ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Gemisch bei einem bestimmten Mischungsverhältnis der Komponenten ein Azeotrop mit Siedepunktminimum bildet.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel als azeotropes Gemisch oder als Gemisch mit einer Siedepunkterniedrigung, bezogen auf den Siedepunkt der Komponente mit dem höchsten Siedepunkt, vorliegt, wobei Arbeitsmittel in Form von Gemischen bevorzugt sind die eine Siedepunkterniedrigung von mindestens 5° C, bevorzugt von mindestens 10° C, weiter bevorzugt von mindestens 15° C, noch weiter bevorzugt von mindestens 20° C und am meisten bevorzugt von mindestens 25° C aufweisen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Absorption der ersten Komponente/n so gesteuert wird, dass die dampfförmig verbleibende zweite Komponente/n auf eine Temperatur oberhalb der Siedetemperatur des Gemisches erwärmt wird, und die zweite Komponente/n in einem Wärmetauscher kondensiert wird, wodurch die Verdampfung des Arbeitsmittels erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel ein Lösemittelgemisch mit geringer molarer Verdampfungsenthalpie ist, das organische und/oder anorganische Lösemittelkomponenten aufweist, wobei eine der Komponenten ein protisches Lösemittel sein kann.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorptionsmittel ein reversibel immobilisierbares Lösemittel ist, das in dem nicht-immobilisierten Aggregatzustand die erste Komponente des Arbeitsmittels ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel ein Gemisch aus Wasser und Silikon ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorptionsmittel eine Silikatlösung ist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung ein Wälzkolbengebläse ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Wälzkolbengebläse mit mindestens einer Einspritzöffnung ausgeführt ist, durch die ein Absorptionsmittel oder ein protisches Lösemittel in das Wälzkolbengebläse bringbar ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung eine Absorptionsvorrichtung nachgeschaltet ist, in der die erste Komponente/n des Arbeitsmittels absorbiert wird, wobei die Absorptionsvorrichtung bevorzugt als Wäscher ausgeführt ist.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass eine Trennanordnung die absorbierte erste Komponente/n vom Absorptionsmittel trennt.
15. Verfahren nach Anspruch 14,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennanordnung als Membransystem ausgebildet ist.
16. Verfahren nach Anspruch 14,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennanordnung als Austreiberaggregat ausgeführt ist, in dem die absorbierte erste Komponente durch Erwärmen desorbiert wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorptionsmittel mit einer Pumpe in die Trenneinrichtung und anschließend zurück zum Wäscher gefördert wird.
18. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmepumpe von einem mechanischen Verdampfer oder einem flüssigkeitsüberlagerten Verdichtersystem angetrieben wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmepumpe als Absorptionswärmepumpe mit einem azeotropen Gemisch ausgebildet ist, bei der die Temperaturerhöhung durch Absorption einer Komponente und Übertragen der Absorptionsenergie auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente erfolgt.
20. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid ein ein- oder mehrkomponentiges Gas oder eine ein- oder mehrkomponentige Flüssigkeit ist.
21. Verfahren nach Anspruch 20,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid eine Gas- oder Flüssigkeitsströmung aus industriellen Kühl-, Wärmeaustausch-, Umwandlungs- oder Entspannungsprozessen ist.
22. Verfahren nach Anspruch 1 und 20,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Fluid atmosphärische Umgebungsluft mit dem darin als Luftfeuchtigkeit gelösten Wasserdampf ist.
23. Verfahren nach einem der genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmeenergie aus fühlbarer und/oder latenter Wärme einzelner oder mehrerer Komponenten zusammengesetzt ist.
24. Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass sie folgende Komponenten umfasst:
  - a) eine Verdampfereinheit (7), in der ein Arbeitsmittel, das durch ein Gemisch gebildet ist, verdampfbar ist,
  - b) eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (8),

- c) eine Absorptionsvorrichtung (10) und/oder Adsorptionsvorrichtung (10), die in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (8) integriert ist und/oder der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (8) nachgeschaltet ist,
  - d) eine Trennvorrichtung (12), die als Membransystem oder thermisches Austreibersystem ausgebildet ist, in der die absorbierte Komponente vom Absorptionsmittel getrennt wird, und eine Pumpe, mit der das Absorptionsmittel zur Trennvorrichtung (12) und zurück zur Absorptionsvorrichtung (10) gefördert wird,
  - e) wenigstens eine Energiequelle die mit der Verdampfereinheit (7) in Kontakt steht, mittels derer Wärmeenergie erzeugbar ist, die von einem Fluidstrom im Verdampfer (1) aufgenommen wird, um den Fluidstrom auf ein höheres Temperaturniveau zu transformieren.
25. Anlage nach Anspruch 24,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Energiequelle/n eine Wärmepumpe, eine Brennstoffzelle und/oder Solaranlage ist.
26. Anlage nach Anspruch 24 oder 25,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung ein Wälzkolbengebläse ist.
27. Anlage nach Anspruch 24 bis 26,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass eine Trennanordnung die absorbierte erste Komponente vom Absorptionsmittel trennt.

28. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung mit einem Generator verbunden ist (9), der mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt.
29. Anlage nach Anspruch 24 bis 28, die nach einem der genannten Verfahren betreibbar ist.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, wobei das Verfahren einen zusätzlichen Verfahrensschritt aufweist, bei dem das bei der Verwendung von Wärmepumpe/n auftretende Kondensat-Wasser in einem zusätzlichen Verfahrensschritt zu Brauchwasser und/oder zu Wasser mit Trinkwasserqualität aufbereitet wird.